Bestimmung der Temperatur von Propan - Sauerstoff - Flammen

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematischen-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Hansischen Universität Hamburg

vorgelegt von

KARL KNAUERHASE
aus Hamburg

Hamburg 1939

Gutachter: Prof. Dr. Goos

Mitgutachter: Prof. Dr. P. P. Koch

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Dezember 1938

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

DRUCK VON A. PREILIPPER, HAMBURG 11

Die vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. P. P. Koch im Physikalischen Staatsinstitut der Hansischen Universität ausgeführt.

Es sei mir gestattet, Herrn Prof. Dr. Koch und Herrn Prof. Dr. Goos für die Förderung der Arbeit meinen Dank auszusprechen. Ich danke auch Herrn Dr. E. Pollähn, ehemaligem Assistenten am Physikalischen Staatsinstitut, der mich bei der Ausführung der Arbeit jederzeit in freundlicher und interessierter Weise beraten hat.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548128_0240

INHALTSANGABE.

§ 1. Methode der Temperaturmessung 7

§ 2. Vorbereitende Untersuchungen:

1. Versuchsanordnung 8
2. Eichung der Gasmengenmesser 9
3. Eichung der Bandlampe 10
4. Einfluß der zwischen Bandlampe und Flamme befindlichen Linse auf die Temperaturbestimmung 11
5. Beschreibung der Flamme und Abhängigkeit der Umkehrtemperatur von der Konzentration der die Flamme färbenden NaCl-Lösung 12

§ 3. Messung der Flammentemperaturen 12

§ 4. Genauigkeit der Messungen 13

§ 5. Zusammenfassung 14

§ 1. Methode der Temperaturmessung.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit war, die Temperatur von Propan-Sauerstoff-Flammen auf optischem Wege zu bestimmen. Es ist bekannt[1], daß derartige Flammen reine Temperaturstrahler sind; für sie gilt das Kirchhoffsche Gesetz: $e_{\lambda t} = \frac{E_{\lambda t}}{A_{\lambda t}}$. $E_{\lambda t}$ ist darin das Emissionsvermögen eines strahlenden Körpers, d. h. die Energie, die in der Zeiteinheit unter einem bestimmten räumlichen Winkel ausgestrahlt wird, $A_{\lambda t}$ ist das Absorptionsvermögen; es ist eine reine Zahl zwischen 0 und 1. $e_{\lambda t}$ ist das Emissionsvermögen des schwarzen Körpers. Diese Größen hängen nur von der Wellenlänge λ und der Temperatur t ab, sie sind unabhängig von der Natur des untersuchten Strahlers.

Auf der Grundlage des hier gültigen Kirchhoffschen Strahlungsgesetzes ergibt sich nun folgende bequeme und exakte, optische Methode der Temperaturmessung. Nimmt man einen schwarzen Körper der Temperatur T, und läßt man seine Strahlung durch eine mit Kochsalz gefärbte Flamme von der homogenen Temperatur T' treten, so beobachtet man im Spektroskop in dem kontinuierlichen Spektrum, das vom schwarzen Körper herrührt, die Emissions- oder die Absorptionslinien des Natriums je nachdem, in welchem Verhältnis die Temperatur des schwarzen Körpers zur Temperatur der Flamme steht, wie folgende Überlegung zeigt:

Der schwarze Körper K (Fig. 1)[2] von der Temperatur T strahle in der Wellenlänge λ mit der Intensität e. Die mit Kochsalz gefärbte Flamme von der Temperatur T' habe in dieser Wellenlänge das Emissionsvermögen E' und das Absorptionsvermögen A'. e' ist das zur Temperatur T' der Flamme gehörende Emissionsvermögen des schwarzen Körpers. Nehmen wir zunächst an, die Flamme wäre nicht vorhanden. Dann ist im Spektroskop in der betr. Wellenlänge λ eine Intensität $S = e$ vorhanden (1).

Tritt dagegen die Strahlung des schwarzen Körpers durch obige Flamme, so wird ein Teil dieser Strahlung von der Flamme absorbiert, nämlich e. A', dafür emittiert die Flamme aber selbst die Strahlung E'.

Nach Kirchhoff ist $E' = e'A'$ (2).

Im Spektroskop ist dann aber in der betr. Wellenlänge λ die Intensität $S' = e - eA' + e'A' = e + (e' - e)\, A'$ (3) vorhanden.

---

[1] Hedw. Kohn, Inaug. Diss. Breslau 1913.
[2] Diese sowie alle folgenden Figuren im Anhang.

Dies bedeutet aber folgendes:

Erscheint die Natriumlinie hell im kontinuierlichen Spektrum, so daß also $S' > S$, so muß $e' > e$, also auch $T' > T$ sein, d. h. die Temperatur der Flamme ist höher als die des schwarzen Körpers;

erscheint die Natriumlinie dunkel im kontinuierlichen Spektrum, so daß $S' < S$, so muß $e' < e$ sein, und die Flammentemperatur ist niedriger als die des schwarzen Körpers.

Wenn $e' = e$ ist, d. h. $T' = T$, dann ist $S' = S$. Die Natriumlinie verschwindet im Spektrum. Es ist so, als wäre keine Flamme vorhanden. Die Temperatur des schwarzen Körpers ist dann gleich der Flammentemperatur, die in diesem Falle „Umkehrtemperatur" genannt wird.

In dieser Arbeit wurde statt des schwarzen Körpers eine Wolfram-Bandlampe benutzt. Diese war unter Berücksichtigung ihrer Glashülle von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt auf schwarze Temperaturen geeicht. Eine Eichkurve gab für die jeweilige Strombelastung der Lampe die zugehörige schwarze Temperatur an. Die Umkehrtemperatur wurde also auch hier gleich in schwarzer und damit wahrer Temperatur gemessen. Die Eichung wurde bis 2000 Grad abs. von der P. T. R. geliefert und im hiesigen Institut bis zu 2600 Grad abs. fortgesetzt. (Näheres hierüber § 2 Nr. 3.)

§ 2. Vorbereitende Untersuchungen.

Die Flamme brannte aus einem Bornkesselbrenner Type M. S. 1348 (s. Fig. 2)[1]. Die Austrittsdüsen A vom Durchmesser 1,2 und 1,5 mm konnten ausgewechselt werden. V bedeuten die Ventile in der Propan- und der Sauerstoffleitung des Brenners, wP weite Propandüse, eS enge Sauerstoffdüse.

Für die Propanleitung, die nur unter geringem Überdruck stand, wurde ein Gasschlauch, für die Sauerstoffleitung Bleirohr genommen, da sie 4 atü (atü = Atmosphärenüberdruck) aushalten mußte.

1. Versuchsanordnung.

In Figur 3[1] bedeuten V Druckreduzierventil, M Manometer, R Prop. und RS Propan- bzw. Sauerstoffrotagasmesser, W. Wassermanometer, Br. Brenner, Schl. Schlitten, St. Stativ.

Der Brenner war auf einem horizontal verschiebbaren Schlitten mit mm-Skala montiert, außerdem konnte der ganze Schlitten auch noch vertikal verschoben werden, um eine bestimmte Stelle der Flamme in den optischen Strahlengang einjustieren zu können. Die vertikale Verschiebung war ebenfalls an einer Skala ablesbar. Die Bleileitung war biegsam genug, um den verschiedenen Brennerstellungen zu folgen.

Die Größe der Flammen und die Zusammensetzung des Gemisches wurden nicht an den Brennerventilen, sondern an den Druckreduzierventilen (Dräger, Fienemann) hinter den Gasbomben (s. Fig. 3) reguliert. Die Gasmengen wurden gemessen von einem Propangasmesser in der Pro-

[1] Figurenanhang.

panleitung und einem Sauerstoffgasmesser in der Sauerstoffleitung. Für diese Aufgabe erwiesen sich die von den Rota-Werken in Aachen gebauten Gasmesser, die für die verschiedensten Meßbereiche zu haben sind, am brauchbarsten. Diese beruhen auf folgendem Prinzip:

Der Gasstrom wird durch ein schwach konisch, sich nach oben erweiterndes Glasrohr geleitet. In dem Glasrohr gleitet ein kleiner kegelförmiger Körper, der entsprechend der hindurchströmenden Gasmenge sich in eine bestimmte Höhe einstellt und so ein Maß für den Gasverbrauch pro Zeiteinheit (Std.) angibt. Diese Gasmesser wurden empirisch geeicht; Näheres hierüber in § 2. 2.

Als „umkehrende", das kontinuierliche Spektrum liefernde Lichtquelle diente eine Wolfram-Bandlampe von Osram. Das Glühband dieser Lampe wurde mit Hilfe des Achromaten L_1 (Fig. 4)[1] im Verhältnis 1 : 1 abgebildet in die mit Kochsalz gefärbte Propan-Sauerstoff-Flamme Fl. Flamme und Bild des Bandes wurden mit Hilfe des Achromaten L_2 gemeinsam auf den Spektrometerspalt eines Spektroskops mit konstanter Ablenkung (Wadsworth-Prisma) abgebildet. Die Fernrohrvergrößerung des Spektroskops war so gewählt, daß die beiden D-Linien des Natriums deutlich getrennt erschienen.

Vor der Linse L_2 befand sich eine Blende Bl., die dafür sorgte, daß die Strahlen der Flamme Fl. nicht mit größerer Apertur in L_2 einfielen als die Strahlen der Bandlampe, deren Apertur schon durch die Linse L_1 festgelegt war. Durch einen besonderen Versuch wurde auch empirisch bestimmt, wie eng die Blende Bl. gemacht werden mußte. Bei Veränderung des Durchmessers obiger Blende von 1—14 mm blieb die Umkehrtemperatur konstant, dann stieg sie bei weiterer Vergrößerung des Durchmessers, d. h. die Flamme schien heißer (Kurve Nr. I). Als Blendendurchmesser wurden daraufhin 10 mm gewählt. Die Eichung der Bandlampe bezog sich auf einen Punkt des Glühbandes (Kerbe).

Eine Blende von 1 mm^2 Öffnung, die an die Stelle der Flamme geschoben wurde, diente dazu, das Fadenkreuz des Fernrohres auf den Teil des Spektrums einzujustieren, der von der Strahlung jenes geeichten Glühbandpunktes herrührte.

2. Eichung der Gasmengenmesser.

Fig. 5[1] stellt die Versuchsanordnung für die Eichung der Gasmesser dar. Nachdem das Gas Druckreduzierventil, Manometer, Rotagasmesser und den Brenner passiert hat, gelangt es in ein Auffanggefäß, die Mensur (Fig. 5). Es wurden die Mengen gemessen, die während einer bestimmten Zeit in die kalibrierte Mensur einströmten bei gleichzeitiger Ablesung des Rotagasmessers. Ein Wasserüberdruck wurde vermieden, indem darauf geachtet wurde, daß während des Einströmens des Gases in die Mensur der Wasserstand in der Mensur ebenso hoch war wie der in der Wanne.

Der Propangasmesser wurde bei geringem Propanüberdruck (9 cm Wasser) geeicht, während der Druck des Sauerstoffs bis zu 4 atü verändert werden mußte, damit bis zu 150 l/Std. Gas durch die enge Sauerstoffdüse im Brenner fließen konnten. Bei der Eichkurve des Sauerstoff-

[1] Siehe Figurenanhang.

mengenmessers im Bereich von 30—150 l/Std. tritt also der Druck als Parameter auf. Die Eichungen wurden bei 19,0 Grad C vorgenommen, und die späteren Messungen wurden auch bei dieser Temperatur durchgeführt. Eine Temperaturerhöhung von 1 Grad C rief eine Vergrößerung der durchfließenden Sauerstoffmenge um 1,7% im Mittel hervor. (Eichkurven Nr. II u. III, Temp.-Kurve IV). Einige Versuche klärten auf über die Druckverhältnisse in den Zuleitungen. Es wurde mit einem geringen Propanüberdruck gearbeitet. Ein der Propanleitung angeschlossenes Wassermanometer zeigte bei Veränderung der Sauerstoffzufuhr und unveränderter Propanventileinstellung geringe Druckdifferenzen in der Propanleitung an. Diese bedingten eine leichte Veränderung der durchfließenden Propanmenge, die vom Rotagasmesser angezeigt wurde. Für diese kleinen Druckdifferenzen kam aber laut der zum Gasmesser gelieferten Drucktabelle keine Korrektion der durchfließenden Propanmenge in Betracht; und es ist der vom Gasmesser angezeigte Wert zu benutzen.

3. Eichung der Bandlampe.

Die Lampe wurde gespeist aus einer 24-Volt-Batterie. Laut Vorschrift der P. T. R. sollte der Gewindering der Lampe als Anode genommen werden. Die Stromstärke wurde an einem Amperemeter von Siemens & Halske abgelesen. Dieses wiederum war mit Normalelement und Normalohm unter Verwendung des Feußnerschen Kompensationsapparates[1] geeicht. Wiederholte Messungen zeigten, daß die benutzten Mittelwerte der Eichpunkte auf etwa $^1/_2$‰ gesichert waren. Durch Regulierung des Schiebewiderstandes R (3,5 Ohm) konnte die Lampe bis 30 Amp. belastet werden; die Feinregulierung besorgte ein parallel geschalteter Widerstand R' (50 Ohm). (Fig. 6.)[2]

Schaltung.

Für die jeweiligen Strombelastungen der Bandlampe hatte die Physikalisch-Technische Reichsanstalt die zugehörigen schwarzen Temperaturen der Strahlung bis zu 2030 Grad abs. laut Prüfschein P. T. R. 1694, Adler 1933 angegeben. Da es sich aber zeigte, daß die Temperatur bei bestimmten Mischungsverhältnissen von Propan und Sauerstoff bis zu wesentlich höherer Temperatur als 2030 Grad abs. anstieg, mußte auch die Bandlampe bis zu dieser höheren Temperatur geeicht werden. Die Eichung wurde nun auf folgendem Wege bis 2600 Grad abs. ausgeführt:

Das Band der Lampe wurde auf den ersten Spalt eines Doppelmonochromators abgebildet, der einen Spektralbereich im gelbroten bis roten Teil des Spektrums hindurch ließ. Die Strahlung fiel dann auf eine Thermosäule, der ein Galvanometer angeschlossen war. Die Beziehung zwischen Galvanometerausschlag und aufgefallener Strahlung, d. h. von der Thermosäule absorbierter Strahlung war bekannt[3].

Das Plancksche Strahlungsgesetz ergibt in der in unserem Falle gültigen Vereinfachung des Wienschen Strahlungsgesetzes, daß die logarithmischen Isochromaten gerade Linien sind. Dies zeigte auch die Beobach-

[1] Apparat gebaut von Wolff, Berlin. W. Jäger, Elektr. Meßtechnik S. 292 (1992).
[2] Siehe Figurenanhang.
[3] Apparatur von Prof. Goos.

tung in dem von der Reichsanstalt geeichten Bereich der Bandlampe. In Kurve Nr. V wurden nämlich auf der Ordinate die relativen Intensitäten, auf der Abszisse der Ausdruck $\frac{1}{T}$ aufgetragen. T war dabei die Temperatur der Bandlampe, die aus der Stromstärke mit Hilfe der von der Reichsanstalt gelieferten Eichung bestimmt war. Es ist zu ersehen, daß die Kurvenpunkte gut durch eine Gerade zu verbinden sind. Man kann also nach Extrapolation der Geraden die zu den ermittelten höheren Intensitäten gehörenden höheren Temperaturen auf der Abszisse ablesen.

Bei den späteren Messungen der Flammentemperaturen wurde die Bandlampe maximal auf 2600 Grad abs. gebracht. Um Schädigungen zu vermeiden, wurde die Lampe nur etwa 20 Sekunden lang belastet, und eine wiederholte Kontrolle der Bandlampe im Bereich der P. T. R.-Eichung bewies, daß ihre Eichung nicht gelitten hatte. Die Kontrolle bestand im Vergleich der Lampe mit einer bis dahin unbenutzten, ebenfalls von der P. T. R. geeichten, ähnlichen Lampe (P. T. R. 1862).

Beide Lampen stimmten auf ± 5 Grad überein.

4. Einfluß der zwischen der Bandlampe und der Flamme befindlichen Linse L_1 (Fig. 4)[1] auf die Temperaturbestimmung.

Das Glühband der Lampe wurde durch einen Achromaten L_1 in die Flamme abgebildet. Dies gab Veranlassung zu folgender Korrektion:

Von der Strahlung E der Bandlampe läßt L_1 den Anteil E' hindurch, während die Differenz der auffallenden Strahlung E und der hindurchtretenden Strahlung E' an den Grenzflächen der Medien reflektiert und auch absorbiert wird.

Der reflektierte Anteil berechnet sich aus der Fresnelschen Formel für senkrecht auffallende Strahlung: $R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$ wo R der reflektierte Anteil, n der Brechungsexponent der betreffenden Glasarten ist.

Der Achromat bestand aus verkittetem Kron- und Flintglas. Für Kronglas wurde $n = 1{,}51$, für Flintglas $n = 1{,}61$ angenommen. Dann ergab sich für L_1 eine Reflexion an Vorder- und Hintergrenzfläche von $R = 4{,}2\%$ bzw. $5{,}4\%$.

Die Reflexion an der Kittfläche war zu vernachlässigen. Die im Glas absorbierte Intensität betrug für 5 mm Glasweg schätzungsweise $0{,}3\%$; der Gesamtverlust an Intensität ist dann rund 10%.

Setzt man $k \cdot E = E'$, so ist k der Schwächungskoeffizient, eine Zahl zwischen 0 und 1, die sich gemäß dem Gesamtverlust zu rund 0,90 ergibt.

Die durch den Achromaten entstandene Intensitätsschwächung wirkt sich in folgender Weise auf die abgelesene Temperatur aus. Die Beziehung zwischen dem Intensitätsverlust und der damit verbundenen Temperaturänderung ergibt sich aus der Tatsache, daß die logarithmischen Isochromaten gerade Linien sind. Es ist nämlich $\ln \frac{E'}{E} = q\left(\frac{1}{T'} - \frac{1}{T}\right)$, wo T = abgelesene Temperatur,

T' = korrigierte Temperatur und $q = \frac{c}{\lambda}$; $c = 1{,}43$ cm grad.

[1] Figurenanhang.

Für λ ist dabei die mittlere Wellenlänge der beiden Natriumlinien zu setzen.

Erinnern wir uns, daß $E' = k \cdot E$ ist, so ergibt sich $\ln k = q\left(\frac{1}{T'} - \frac{1}{T}\right)$.

Kurve VII gibt die durch den Achromaten L_1 verursachte Korrektion für die abgelesene Temperatur wieder, und zwar beträgt sie für 1500 Grad abs. — 10 Grad, für 2000 Grad — 17,5 Grad und für 2500 Grad — 25.5 Grad.

5. Beschreibung der Flamme und Abhängigkeit der Umkehrtemperatur von der Konzentration der zum Färben der Flamme benutzten NaCl-Lösung.

Wir müssen die Flammen einteilen in selbstleuchtende, d. h. Flammen mit leuchtenden Kohlenstoffteilchen, und in nicht selbstleuchtende. Die letzteren sind die Flammen mit größerer Sauerstoffzufuhr. Fig. 7[1] zeigt eine solche Flamme, die eine ausgeprägte dunkle Kegelzone K besitzt. Es ist die Zone über der Ausflußdüse des Brenners, wo das Gasgemisch noch nicht brennt.

Die Flammen mit leuchtenden Kohleteilchen unterscheiden sich von den nichtleuchtenden mit definiertem Kegel K dadurch, daß bei ihnen dieser Kegel K bis in die fahlblaue Flammenspitze S auseinandergezogen ist (Fig. 8)[1].

In diesem auseinandergezogenen Kegel K' leuchtet der Kohlenstoff.

Die zum Färben der Flamme benutzte NaCl-Lösung befand sich in einer u-förmigen Röhre, die mit einem Asbestdocht abgeschlossen war. Dieser feuchte Docht färbte die Flamme. Es war für die Umkehrtemperatur gleichgültig, an welchem Orte der Docht in die Flamme tauchte. Er wurde zur Temperaturmessung in der dunklen Kegelzone K (Fig. 7) der nicht selbstleuchtenden Flammen 2 mm über der Düsenöffnung des Brenners, bei den selbstleuchtenden Flammen 5—15 mm (Fig. 8) über der Öffnung in die Flamme geführt.

Die Messungen ergaben weiter, daß die Umkehrtemperatur bei abnehmender Konzentration im Bereich von der gesättigten Lösung bis zur $^1/_{150}$ normalen Lösung unter sonst konstanten Bedingungen um weniger als 1% abnahm.

Diese Änderung erklärt sich aus der Tatsache, daß bei stark verdünnten Lösungen die Flamme durch den Wasserdampf gekühlt wird. Dieses Ergebnis bestätigt frühere Messungen über obige Abhängigkeit der Umkehrtemperatur[2], die auch von Ladenburg und Reiche theoretisch behandelt wurde[3]. Die Flamme wurde dann zum Zwecke der Temperaturmessungen von einer $^1/_{60}$ normalen NaCl-Lösung gefärbt.

§ 3. Messung der Flammentemperaturen.

Es wurden nun hintereinander die Propanmengen 16,6, 20, 25 und 30 l/Std., von denen die Flammengröße abhing, genommen und die Sauerstoffmengen bis zum Verhältnis $C_3H_8 : O_2 = 1 : 7$ zugeführt. Bei den Zu-

[1] Siehe Figurenanhang.
[2] H. Kohn, a. a. O.
[3] Ladenburg u. Reiche, Ann. d. Phys. 42 p. 181—209 (1912). Umfangreiche Arbeiten älterer Zeit von Gouy. Ann. d. chim. et physique (5) p. 5—101 (1879).

sammensetzungen 1 : 5,5, 1 : 6 und 1 : 7 war der Sauerstoffstrom schon so stark, daß die Flamme erlosch. Es wurde daher eine ganz kleine Leuchtgas-Hilfsflamme neben der Brennerausflußdüse angebracht, die ein Erlöschen der Propan-Sauerstoff-Flamme verhinderte und diese Flamme ruhig und konstant brennen ließ. Hier erwies sich auch die enge Düse (d = 1.2 mm) nützlicher, da bei ihr ein Zurückschlagen der Flamme in den Brenner nicht vorkam. Es galt nun auch möglichst den stöchiometrischen Punkt der Temperatur aller Flammen zu finden, der nach der chemischen Gleichung $C_3H_8 + 5\ O_2 = 3\ CO_2 + 4\ H_2O$, dem Fall der idealen Verbrennung, bei einer Zusammensetzung von 1 : 5 liegen müßte. Dazu mußte die heißeste Stelle in jeder Flamme gefunden werden.

Vorversuche zeigten, daß es genügte, eine Meßreihe vertikal über der Brennerdüse hin und zurück zu messen. An der heißesten Stelle wurde dann quer durch die Flamme gemessen. So wurden in jeder Flamme 20 bis 30 Temperaturmessungen vorgenommen. Die Messungen ergaben, daß die nicht selbstleuchtenden Flammen in oben beschriebenem Kegel K (Fig. 7) schnell abnehmende Temperatur von dieser Kegelspitze nach der Düse hin haben (s. Tabelle), und daß die heißeste Stelle etwa 5 mm über der Spitze dieses Kegels K lag. Die Temperatur nahm in der Flammenachse von dieser Kegelspitze nach dem Flammende linear ab (siehe Tabelle).

Die Flammen waren selbstleuchtend bis zum Gemisch $C_3H_8 : O_2 = 1 : 2{,}3$; bei weiterer Sauerstoffzufuhr verschwand das Leuchten. Bei Flammen mit leuchtenden Kohlenstoffteilchen bemerkte man ein sehr schwaches kontinuierliches Spektrum, das von den leuchtenden Teilchen herrührte. Hierdurch wurde aber die Temperaturbestimmung nicht beeinflußt, da die glühenden Kohlenstoffteilchen sich im Strahlungsgleichgewicht befinden, d. h. daß ihre emittierte und absorbierte Energie gleich ist ebenso, wie es bei den leuchtenden Natriumatomen der Fall ist.

Es gilt also auch für die Kohlenstoffteilchen das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz. Im Kegel K' der leuchtenden Flammen bleibt die Umkehrtemperatur ziemlich konstant (s. Tabelle).

Die Kurve VIII, die bereits korrigiert ist für den Intensitätsverlust durch die Linse L_{II}, zeigt die Abhängigkeit der Umkehrtemperatur vom Sauerstoffgehalt des Gemisches. Es wurden eingetragen die heißesten Temperaturen jeder Flamme, wie sie sich finden ließen nach der oben angegebenen Methode. Der stöchiometrische Punkt tritt hier als Maximum deutlich hervor. Er liegt zwischen den Gemischen 1 : 4 und 1 : 5,2.

Eine Übersicht über die Umkehrtemperatur bei verschieden großen Flammen gleicher Zusammensetzung läßt keinen Zusammenhang erkennen zwischen Temperatur und Flammengröße. (Die Punkte, die zur gleichen Abszisse gehören, sind die Höchsttemperaturen von verschieden großen Flammen.)

§ 4. Genauigkeit der Messungen.

Bei der Temperaturmessung ist die Unsicherheit über die extrapolierte Eichung der Bandlampe zu beachten; diese ist bei 2600 Grad abs. auf etwa ± 15 Grad zu schätzen.

Die Ph.-T. Reichsanstalt gibt für die Lampe bis 1400 Grad 5 Grad, bis 2000 Grad 10 Grad Unsicherheit an. Diese Ungenauigkeiten liegen innerhalb der Einstellgenauigkeit, die durch die Augenempfindlichkeit bedingt ist. Diese Einstellgenauigkeit beträgt 1% der bestimmten Temperatur.

Die Ungenauigkeit, die von der Eichung des Amperemeters herrührt, beträgt nur $^1/_2$‰ der bestimmten Temperatur. Die Rotagasmesser zeigen bis auf 2% genau die durchfließenden Gasmengen an.

§ 5. Zusammenfassung.

Die Temperaturen von Propan-Sauerstoff-Flammen wurden gemessen durch Vergleich der Strahlung der Flammen mit der Strahlung einer auf Temperaturen geeichten Bandlampe nach dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz.

Es wurde festgestellt, daß die Höchsttemperatur der Flamme zunimmt bis zu einem Gemisch Propan : Sauerstoff = 1 : 4.

Zwischen den Gemischen Propan : Sauerstoff = 1 : 4 und 1 : 5,2 nimmt die Höchsttemperaturen der Flammen ihr Maximum an, um bei höherem Sauerstoffgehalt wieder zu sinken.

Die Temperatur der Flamme zeigte keine Abhängigkeit von der Flammengröße.

Die Temperatur der Flamme hängt von der Konzentration der zum Färben benutzten NaCl-Lösung nur in dem Maße ab, als der entstehende Wasserdampf der Lösung die Flamme abkühlt.

Die Tabelle gibt eine Zusammenstellung sämtlicher Temperaturmessungen an. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aus Hin- und Rückmessung.

Die Zeilen geben den Temperaturverlauf in der Flammenachse.
Die durch die Linse L_1 bedingte Korrektion ist berücksichtigt.

cm über d. Düse $C_3H_8 : O_2$		in l/Std.	0,25	0,50	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	8,0	Quermessung. an d. heißesten Stelle ergibt die Höchsttemperatur Grad abs.
30 : 30		**		1740	1740	1740	1745	1745	1680	1625	Kegel K' bis 12cm 1755
30 : 30		**		1700	1740	1755	1745	1765	1745	1715	1760
30 : 30		**		1735	1745	1750	1765	1750	1725	1710	1775
30 : 37,5		**		1785	1815	1825	1840	1820[2]	1780	1775	1855
30 : 37,5		*		1805	1835	1825	1800	1810[2]	1785	1765	1835
20 : 30		**		1790	1865	1845	1860	1845[2]	1865		1945
20 : 30		**		1780	1790	1845	1845	1825[2]	1825		1930
30 : 52,5		**		1875	1935	1935	1940	1925[2]	1915	1950	2005
30 : 52,5		*		1815	1920	1935	1960	1925[2]	1915	1945	2005
16,6 : 33		**			1870	2000[1]	2145	2115	1895	1485	2185
20 : 40		**		1960	2060	2105[1]	2110	2090	2060	1995	2110
25 : 50		**		1830	1955	1990	2060[1]	2085	2135	2100	2140
30 : 60		**		2005	2060	2105	2180[1]	2185	2140	2065	2200
30 : 60		**		2020	2065	2080	2135[1]	2130			2140
20 : 50		**		2085	2175[1]	2245	2250	2205			2250
20 : 50		**		2150	2245[1]	2235	2230	2185			2250
16,6 : 50		**		2505[1]	2475	2375	2385	2255	2125	1750	2505
20 : 60		**		2420[1]	2415	2420	2365	2305	2140	2000	2415
25 : 75		**	2255	2405[1]	2480	2425	2425	2335	2225	2060	2495
30 : 90		**		2345	2355	2375	2350	2325	2265	2160	2395
30 : 90		**		2250	2385	2345	2335				2405
30 : 110		**	2385	2515[1]	2520	2525	2450	2425	2230	2070	2540
30 : 110		**		2445[1]	2525	2540	2445				2540
25 : 100		**	2370	2545[1]	2555	2455	2415	2365	2200	2060	2570
25 : 100		**		2580[1]	2555	2500					2590
30 : 131		**		2345[1]	2485	2455	2385	2350	2170	2015	2515
30 : 131		**		2555[1]	2575	2565	2505				2575
30 : 131		**		2560[1]	2585	2480					2580
30 : 131		**		2575[1]	2580	2560					2580
30 : 131		**		2555[1]	2580	2560					2575
25 : 113		**		2515[1]	2570	2555	2490	2365	2220	1900	2575
25 : 113		**		2470[1]	2575	2515					2575
30 : 139		**		2515[1]	2545	2515	2370	2315			2555
30 : 139		**		2490[1]	2550	2540					2560
20 : 100		*	2465	2565[1]	2525	2515	2385	2290	2100		2570
20 : 100		*		2575[1]	2555	2545					2590
20 : 100		*		2490[1]	2575	2565	2535	2385	2195		2580
20 : 100		*		2505[1]	2580	2560					2590
20 : 110		*	2365	2500[1]	2545	2490	2390	2315			2550
20 : 110		*	2445	2545[1]	2545	2495	2340				2545
18 : 108		*	2395	2530[1]	2525	2430	2375	2290	2130		2540
18 : 108		*		2525[1]	2500	2500					2525
20 : 120		*		2535[1]	2525	2480	2450	2345			2545
20 : 120		*		2525[1]	2515	2485					2525
20 : 139		*	2365	2425[1]	2420	2350	2275	2215			2440
20 : 139		*		2445[1]	2425	2400	2380	2285			2455

** mit Brennerdüse 1,5 mm Durchmesser;
* mit Brennerdüse 1,2 mm Durchmesser;
[1] bis zu dieser Höhe reicht der Kegel K (Fig. 7) der Flamme.
[2] bis zu dieser Höhe reicht der Kegel K' (Fig. 8) der Flamme;

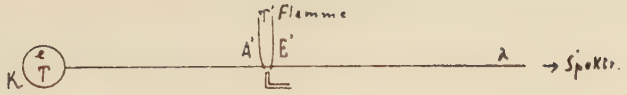


Fig. 1

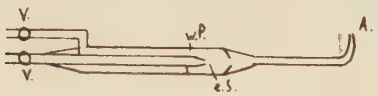


Fig. 2

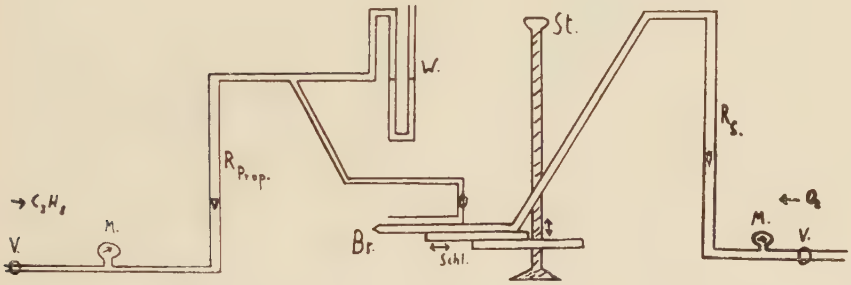


Fig. 3

Fig. 4

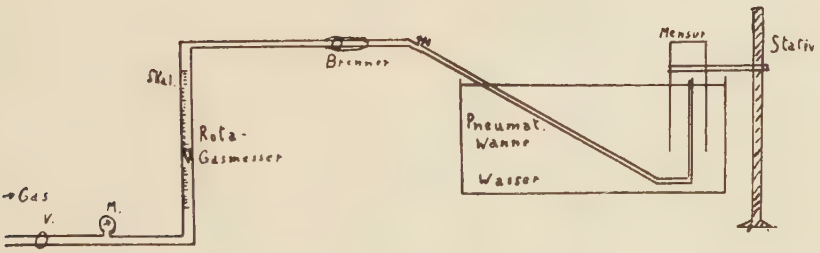


Fig. 5

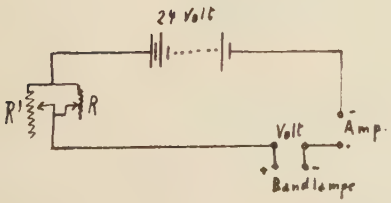


Fig. 6

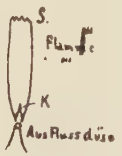
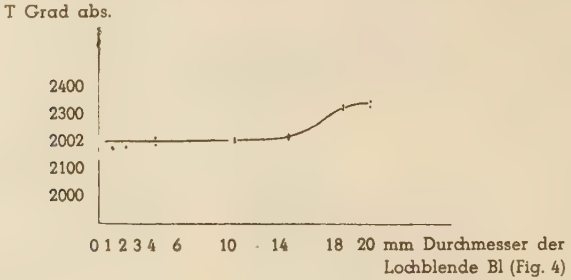


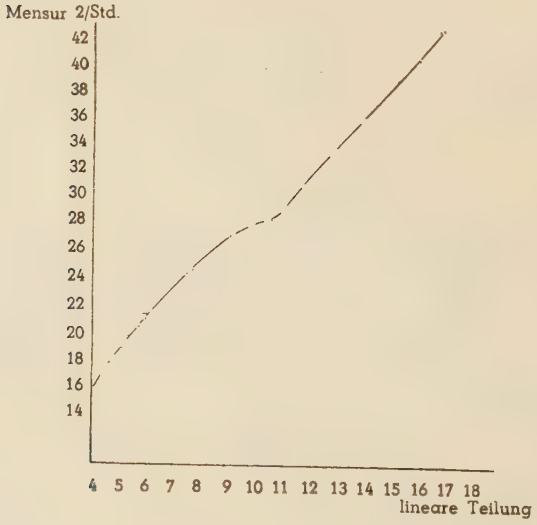
Fig. 7

Fig. 8

Kurve I. Abhängigkeit der Umkehrtemperatur vom Blendendurchmesser



Kurve II. Eichkurve zum Propan-Rotagasmesser Nr. 30305

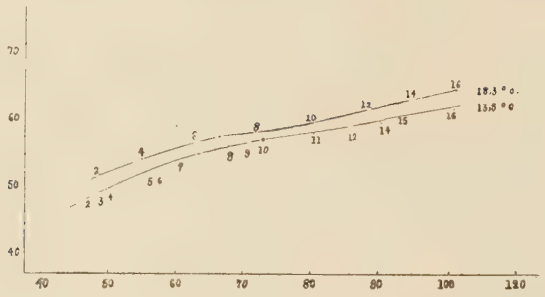


Kurve III. Eichkurve zum Sauerstoffgasmesser
Nr. 30194

Kurve IV

Teilung für Leuchtgas

Rota 1/Std.



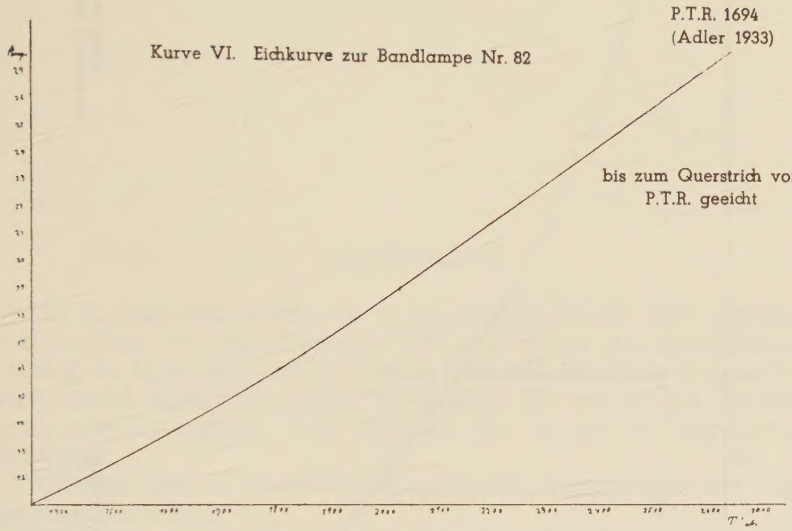
1/Std.

wahre durchgeflossene Gasmenge

Kurve V

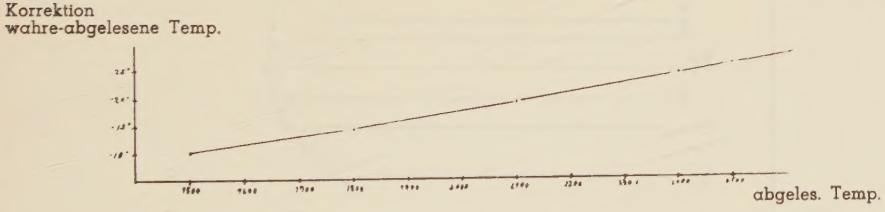
log. (Ausschlag d. Galv.)

$\times 10^{-5} = \frac{1}{T}$ abs.



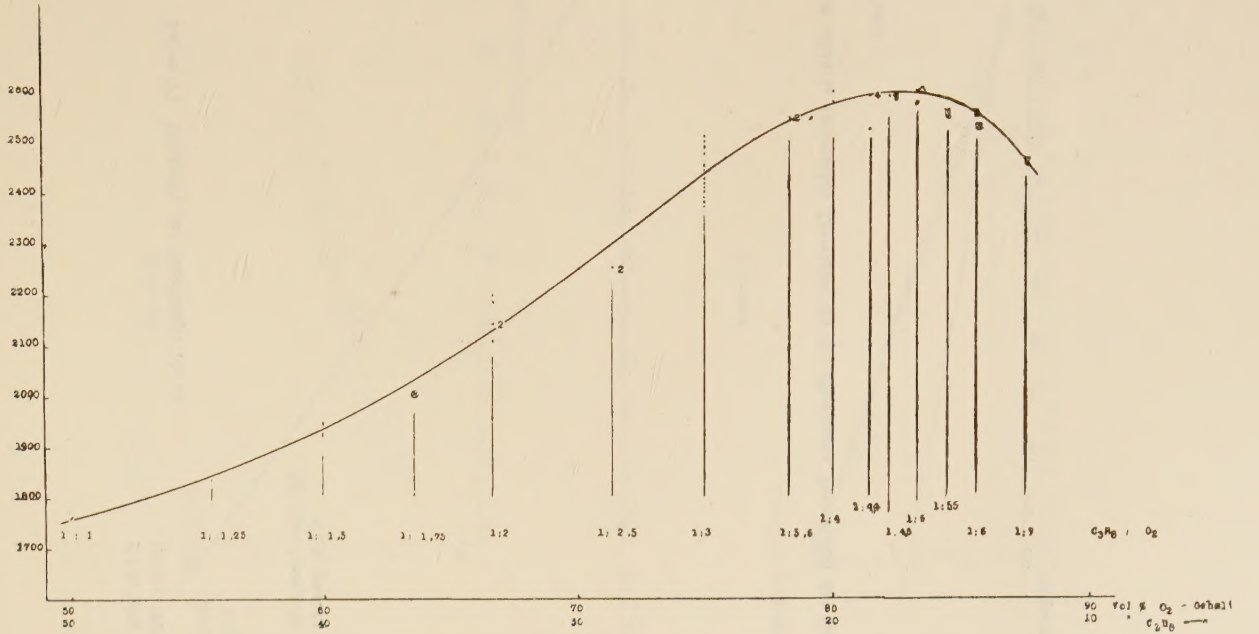
Kurve VI. Eichkurve zur Bandlampe Nr. 82

Kurve VII. Durch Linsè L_1 verursachte Korrektion für die abgelesene Temperatur der Flammen



T. Grad abs. der Flamme an der heißesten Stelle

Kurve VIII



LEBENSLAUF.

Am 23. Juni 1913 wurde ich in Hamburg geboren. Dort besuchte ich die Realschule vor dem Lübecker Tor und später die Oberrealschule in St. Georg zu Hamburg, die ich Ostern 1933 mit dem Reifezeugnis verließ. Anschließend begann ich an der Hansischen Universität das Studium der Physik und Mathematik. Seit Juli 1937 war ich mit vorliegender Arbeit beschäftigt.

Während meines Studiums besuchte ich Vorlesungen und Übungen folgender Dozenten:

Artin, Blaschke, Goos, Hecke, J. Jensen, P. P. Koch, Lenz, Mecking, Ad. Meyer, Passarge, Petersson.

Karl Knauerhase.